

ЗАХИСНИЙ ЕФЕКТ КВАЗІМОНОХРОМАТИЧНОГО ЧЕРВОНОГО СВІТЛА ВІД ОКСИДАТИВНОЇ ДІЇ НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

¹Цибулін О.С., ²Якименко І.Л., ³Сидорик Є.П.

¹Білоцерківський національний аграрний університет,
пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, 09100 Україна,
тел. +38(04563)33-11-46,
e-mail: alex.tsybulin@gmail.com;

²Національний університет харчових технологій,
вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01601 Україна,
тел. +38(044)287-97-46;

³Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології імені Р.Є.Кавецького,
вул. Васильківська, 45, м. Київ, 03022 Україна,
тел. +38(044) 259-01-83.

***Вступ.** Всесвітня організація охорони здоров'я офіційно визнала електромагнітне випромінювання радіочастотного діапазону можливим канцерогеном для людини. У деяких епідеміологічних дослідженнях було продемонстровано збільшення ризику виникнення раку головного мозку, невруноти слухового нерву, зміни гормонального статусу та психофізичних показників у осіб, що перебувають під тривалим впливом електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону. У той же час відсутність чітких уявлень про молекулярні механізми таких впливів електромагнітного випромінювання була однією з перешкод на шляху широкого визнання даного феномену.*

Раніше нами було продемонстровано, що монохроматичне червоне світло гелій-неонового лазера, а також червоне випромінювання світлодіодів (LED) за певних режимів проявляють виражену антиоксидантну дію на ембріони птиці. В даній роботі нами проведено експериментальну оцінку ефективності використання червоного світла LED для захисту ембріональних клітин від негативних ефектів електромагнітного випромінювання стандарту GSM (частота 900 МГц).

***Матеріали та методи.** У роботі використані ембріони перепела японського (Japanese quail). Для експерименту було сформовано три групи по 8-10 свіжих інкубаційних яєць, які інкубували in ovo. Перша група слугувала інтактним контролем, друга піддавалася дії надвисокочастотного випромінювання (НВЧВ) стандарту GSM 900 МГц. Яйця третьої групи опромінювалися НВЧВ і додатково – квазімонохроматичним червоним світлом LED. За джерело НВЧВ використовували 3G USB-модем Huawei E173 та комерційну модель мобільного телефону Nokia 3120, які активізували комп'ютерною програмою автодозвону у режимі 48 секунд – «увімкнуто», 12 секунд – «вимкнуто». В стані «увімкнуто» система випромінювала НВЧВ стандарту GSM 900 МГц з щільністю потужності 14 мкВт/см² в зоні розташування біологічного об'єкту (яєць). В якості джерела квазімонохроматичного червоного випромінювання використовували світлодіодну матрицю (20 світлодіодів L7113 PDC/H, довжина хвилі 630–650 нм), що давала в зоні знаходження біологічного об'єкту щільність потужності світла 0,1 мВт/см². Перепелині ембріони другої групи опромінювали in ovo НВЧВ стандарту GSM 900 МГц протягом 120 годин до інкубації та 38 годин - упродовж перших двох діб інкубації. Ембріони третьої групи опромінювали НВЧВ у такому ж режимі та додатково упродовж 180 секунд (3×60) - квазімонохроматичним червоним світлом під час інкубації.*

Яйця двох дослідних і контрольної груп інкубували у однакових стандартних умовах з екрануванням металеву фольгою однієї групи від іншої. Ембріональний розвиток зупиняли після 38 годин інкубації та мікроскопічно оцінювали його рівень за кількістю пар диференційованих сомітів, а також за показниками прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у ембріональних клітинах.

***Результати досліджень та їх обговорення.** Опромінення ембріонів НВЧВ стандарту GSM 900 МГц призвело до незначного, але достовірного пригнічення сомітогенезу, що виражалося у*

зменшенні кількості пар диференційованих сомітів на 11,2% ($P < 0,05$) порівняно з контролем. В той же час додаткове опромінення ембріонів квазімонохроматичним червоним світлом привело до відновлення інтенсивності сомітогенезу до рівня контролю.

НВЧВ викликало виражений оксидативний стрес у ембріональних клітинах. Зокрема, рівень ТБК-реагуючих перекисних ліпідних сполук у клітинах ембріонів групи II виявився на 37,5% ($P < 0,05$) вищим порівняно з контролем. Крім того, активність супероксиддисмутази (СОД) та особливо каталази у клітинах ембріонів, опромінені НВЧВ, була суттєво знижена порівняно з контролем: СОД - на 17,3%, каталази – на 78,6% ($P < 0,01$).

Висновки. Отримані нами дані засвідчують виражені оксидативні ефекти низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання стандарту GSM 900 МГц на ембріональні клітини в умовах *in vivo* та на активність ферментів антиоксидантного захисту в умовах *in vitro*. Крім того, продемонстровано виражений нормалізуючий вплив квазімонохроматичного червоного випромінювання світлодіодів на ранній розвиток ембріонів птиці та стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги в ембріональних клітинах, що дозволяє розглядати цей фактор, як потенційний засіб ефективного зменшення ризиків від надлишкового опромінення живих систем НВЧВ сучасних систем бездротового зв'язку.

Ключові слова: оксидативний стрес, надвисокочастотне електромагнітне випромінювання, ембріогенез, фототерапія, антиоксиданти.

Вступ

Офіційне визнання електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону можливим канцерогеном для людини (група 2В) Міжнародною агенцією з дослідження раку, що є структурним підрозділом Всесвітньої організації охорони здоров'я, стало важливою віхою в оцінці глобальних ризиків від стрімкого розвитку бездротових технологій [6]. До цього у деяких епідеміологічних дослідженнях було продемонстровано збільшення ризику виникнення пухлин головного мозку, невриноми слухового нерву, зміни гормонального статусу та психофізичних показників у осіб, що перебувають під тривалим впливом електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону [17]. У той же час відсутність чітких уявлень про молекулярні механізми таких впливів електромагнітного випромінювання була однією з перешкод на шляху до широкого визнання даного феномену.

Проте упродовж останніх років у багатьох лабораторіях світу були виявлені виражені оксидативні ефекти електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону - активація ключових клітинних систем генерації активних форм кисню, окисне ушкодження ДНК [16].

Раніше нами було продемонстровано, що монохроматичне червоне випромінювання гелій-неонового лазера, а також червоне випромінювання світлодіодів (LED) за певних режимів проявляють виражену антиоксидантну дію на ембріони птиці [4]. В даній роботі нами проведено експериментальну оцінку ефективності використання червоного світла LED для захисту ембріональних клітин від негативних ефектів електромагнітного випромінювання стандарту GSM (частота 900 МГц).

Матеріали та методи

У роботі використані ембріони перепела японського (*Coturnix japonica*). Для експерименту було сформовано три групи по 8-10 свіжих інкубаційних яєць, які інкубували *in ovo*. Інкубацію здійснювали за оптимальних умов для розвитку перепелиного ембріона: температура $38,3 \pm 0,2^\circ\text{C}$, відносна вологість 60 %. Яйця розміщували у горизонтальних лотках і перевертали тричі на день. Перша група слугувала інтактним контролем, друга піддавалася дії надвисокочастотного випромінювання (НВЧВ) стандарту GSM 900 МГц. Яйця третьої групи опромінювались НВЧВ і додатково – червоним світлом LED.

За джерело НВЧВ використовували 3G USB-модем Huawei E173 та комерційну модель мобільного телефону Nokia 3120, які активізували комп'ютерною програмою автодозвону у режимі 48 секунд – «увімкнуто», 12 секунд – «вимкнуто». В стані «увімкнуто» система випромінювала НВЧВ стандарту GSM 900 МГц з щільністю потужності 14 мкВт/см^2 в зоні розташування біологічного об'єкту (яєць). Інтенсивність НВЧВ оцінювали вимірювачем електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону (RF Field Strength Meter, Alfalab Inc., USA).

В якості джерела червоного випромінювання використовували світлодіодну матрицю (20 світлодіодів L7113 PDC/H, довжина хвилі 630–650 нм), що давала в зоні знаходження біологічного об'єкту щільність потужності світла $0,1 \text{ мВт/см}^2$, яку вимірювали за допомогою «Ізмерителя лучевых потоков» (Україна).

Перепелині ембріони другої групи опромінювали *in ovo* НВЧВ стандарту GSM 900 МГц протягом 120 годин до інкубації та 38 годин - упродовж перших двох діб інкубації. Даний режим опромінення

у попередніх дослідженнях [14] проявив виражену пригнічуючу дію на інтенсивність раннього розвитку перепелиного ембріону. Ембріони третьої групи опромінювали НВЧВ у такому ж режимі та додатково упродовж 180 секунд (3×60) - червоним світлом під час інкубації (на 2, 17 та 32 годину інкубації). Обраний режим раніше нами [5] був використаний для стимуляції ембріонального розвитку перепела.

Яйця двох дослідних і контрольної груп інкубували у однакових стандартних умовах з екрануванням металевою фольгою однієї групи від іншої. Ембріональний розвиток зупиняли після 38 годин інкубації та мікроскопічно оцінювали його рівень за кількістю пар диференційованих сомітів, а також за показниками прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у ембріональних клітинах. Для приготування суспензії ембріональних клітин перепелиний ембріон після 38 годин інкубації знімали з поверхні жовтка за допомогою паперового кільця. Після цього ембріон обережно відмивали у холодному фосфатному буфері та знімали з паперового кільця. Суспензію ембріональних клітин отримували шляхом обережного піпетування цілого ембріону, що на той період розвитку сягав маси 7 мг, у відповідному об'ємі фосфатного буферу (1:10).

Рівень пероксидів ліпідів у гомогенатах усіх тканин 38-годинних ембріонів визначали у тесті з тіобарбітуровою кислотою (ТБК) у присутності іонів Fe²⁺ [8]. Крім цього, визначали активність ферментів антиоксидантного захисту - супероксиддисмутази (СОД) та каталази [2, 3].

Для з'ясування, чи є зміна активності ферментів антиоксидантного захисту реакцією на зміну рівня активних форм кисню у клітинах, або вона обумовлена прямою дією випромінювання на ферменти, нами були проведені модельні опромінення розчинів ферментів *in vitro*. Для цього визначали вплив НВЧВ стандарту GSM 900 МГц на активність модельного розчину СОД та каталази у гомогенаті тканин 38-годинних перепелиних ембріонів (під час інкубації не піддавались опроміненню) під час постановки реакції щодо визначення ферментативної активності. Час впливу електромагнітного випро-

мінювання в цих експериментах складав 10 хвилин, щільність потужності НВЧВ – 0,25 мкВт/см². Крім того, в експерименті *in vitro* визначали можливість реактивації ферментів антиоксидантного захисту червоним світлом LED (щільність потужності - 0,1 мВт/см²; час впливу – 10 хвилин). В усіх експериментах опромінення червоним світлом відбувалось на фоні НВЧВ.

Результати досліджень та їх обговорення

Опромінення ембріонів НВЧВ стандарту GSM 900 МГц призвело до незначного, але достовірного пригнічення сомітогенезу, що виражалось у зменшенні кількості пар диференційованих сомітів на 11,2% (P<0,05) порівняно з контролем. В той же час додаткове опромінення ембріонів червоним світлом призвело до відновлення інтенсивності сомітогенезу до рівня контролю (рис. 1, табл. 1).

НВЧВ викликало виражений оксидативний стрес у ембріональних клітинах. Зокрема, рівень ТБК-реагуючих перекисних ліпідних сполук у клітинах ембріонів групи II виявився на 37,5% (P<0,05) вищим порівняно з контролем. Крім того, активність СОД та особливо каталази у клітинах ембріонів, опромінених НВЧВ, була суттєво знижена порівняно з контролем: СОД - на 17,3%, каталази – на 78,6% (P<0,01).

Опромінення ембріонів червоним світлом з довжиною хвилі 630–650 нм призвело до достовірного відновлення порушеної прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у ембріональних клітинах. Зокрема, рівень ТБК-реагуючих перекисних ліпідних сполук у клітинах ембріонів, зазнавши одночасної дії НВЧВ та червоного світла, знизився на 30,4% (P<0,001) порівняно з показником ембріонів, опромінених тільки електромагнітним випромінюванням стандарту GSM. Крім того, активність каталази суттєво (на 99,2%, P<0,01) підвищилась після дії червоного світла на ембріони, на які попередньо діяли НВЧВ, практично повернувшись до контрольного рівня (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив опромінення перепелиних яєць НВЧВ стандарту GSM 900 МГц та червоним світлом з довжиною хвилі 630-650 нм на інтенсивність сомітогенезу й показники прооксидантно-антиоксидантної рівноваги у клітинах ембріонів: n = 7; M ± m.

Показник	Контрольна група I	Дослідна група II	Дослідна група III
Випромінювання	-	НВЧВ	НВЧВ + LED
Щільність дози енергії опромінення, мДж/см ²	-	6370	6370 + 18
Кількість сомітів, шт	11,63±0,42	10,33±0,33*	11,71±0,56
Перекуси ліпідів, мкмоль/г	0,797±0,099	1,096±0,025*	0,763±0,054 ⁺⁺⁺
Активність СОД, ум. од.	0,163±0,026	0,139±0,012	0,112±0,021
Активність каталази, нкат/г	7,921±0,855	4,434±0,517**	8,834±1,086 ⁺⁺

* - P<0,05; ** - P<0,01 порівняно з контролем; ++ P<0,01; +++ P<0,001 порівняно з дослідною групою II.

У експериментах *in vitro* з модельними розчинами ферментів виявилось, що опромінення розчину кристалічного ферменту СОД (10 μM) НВЧВ стандарту GSM 900 МГц з щільністю потужності 0,25 мВт/см² упродовж 10 хвилин суттєво (на 64,3%, $P < 0,001$) зменшувало активність ферменту порівняно з контрольним (неопроміненим) розчином ферменту. У той же час додаткова дія на розчин СОД червоного випромінювання з довжиною хвилі 630-650 нм та щільністю потужності 0,1 мВт/см² протягом 10 хвилин одночасно з НВЧВ призводила до суттєвого (на 46%, $P < 0,05$) відновлення активності ферменту (рис. 2).

Аналогічно, опромінення гомогенату тканин 38-годинного перепелиного ембріону *in vitro* упродовж 10 хвилин НВЧВ стандарту GSM 900 МГц призводило до достовірного (на 23,4%, $P < 0,001$) пригнічення активності каталази. Одночасна дія на гомогенат червоним світлом відновлювала активність каталази на 21,4% ($P < 0,05$) порівняно зі зразками, опроміненими тільки НВЧВ (рис. 3).

Отримані нами дані засвідчують значний окисдаивний потенціал низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону. Слід відзначити, що упродовж останніх років окисдаивні ефекти НВЧВ були продемонстровані на різних біологічних моделях за інтенсивностями випромінювання, що є значно меншими за офіційно визнаними міжнародними стандартами електромагнітної безпеки [7, 12]. Використані в наших експериментах інтенсивності НВЧВ стандарту GSM 900 МГц (0,25 та 14 мВт/см²) також є на 2-3 порядки меншими за рекомендовані Міжнародною комісією із захисту від неіонізуючого випромінювання [10]. При цьому нами вперше продемонстровано прямий ефект НВЧВ надмалих інтенсивностей на активність ключових ферментів антиоксидантного захисту - СОД та каталази в експериментах *in vitro*.

Важливим є те, що виявлення окисдаивного механізму дії низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону відкриває нові шляхи для зменшення негативного впливу даного виду випромінювання на живі системи. Зокрема, у ряді лабораторій було продемонстровано ефективність класичних антиоксидантів (вітамін С і Е, глутатіон) для зменшення окисдаивного стресу у клітинах, що був спричинений дією радіочастотного НВЧВ [11, 13]. У той же час відомо, що низькоінтенсивне червоне випромінювання лазерів та світлодіодів за певних режимів чинить виражений антиоксидантний ефект. Зокрема, раніше нами було продемонстровано виражені регуляторні та антиоксидантні ефекти червоного

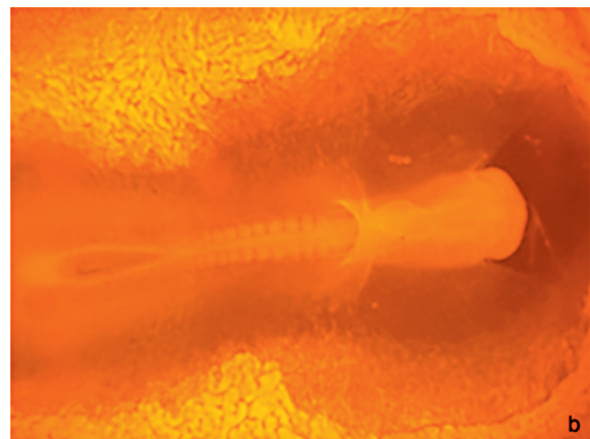


Рис. 1. Мікрофото (x24) ембріонів *Coturnix japonica*: а – контроль (група I, 12 пар сомітів), б – після дії НВЧВ стандарту GSM 900 МГц (група II, 9 пар сомітів), с – після дії НВЧВ та червоним світлом з довжиною хвилі 630-650 нм (група III, 12 пар сомітів).

світла гелій-неонового лазера та світлодіодів на моделі ембріону птиці [4]. З огляду на це, отримані в даній роботі виражені нормалізуючі та антиоксидантні ефекти червоного світла на перепелині ембріони, попередньо уражені НВЧВ, є цілком логічними.

Продемонстровані нами *in vitro* реактуючі можливості червоного випромінювання щодо

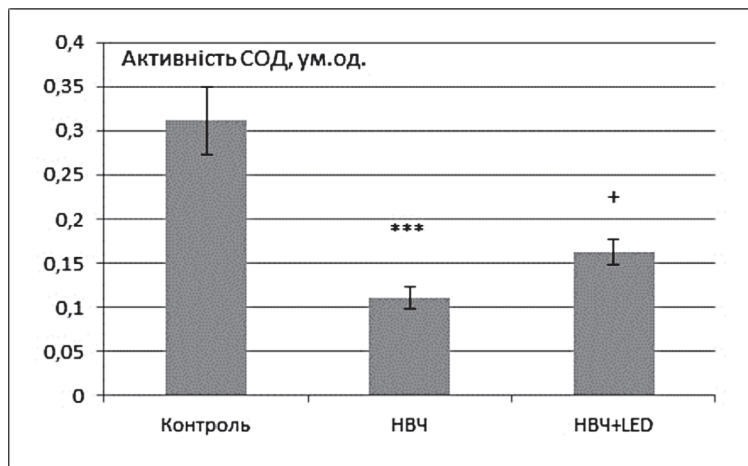


Рис. 2. Активність СОД у 10 μ М розчині ферменту після дії НВЧВ та червоного світла: n = 7; $M \pm m$, *** - $P < 0,001$ порівняно з контролем; + - $P < 0,05$ порівняно з НВЧВ-групою.

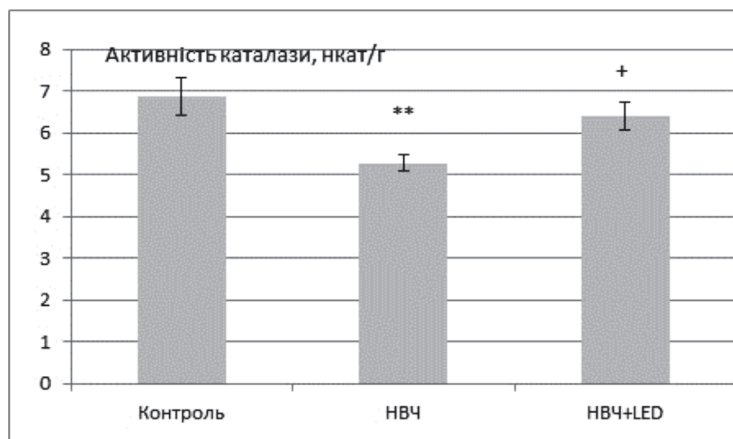


Рис. 3. Активність каталази у гомогенаті тканин перепелиних ембріонів після дії *in vitro* НВЧВ стандарту GSM 900 МГц та червоного випромінювання з довжиною хвилі 630-650 нм: n = 7; $M \pm m$, ** - $P < 0,01$ порівняно з контролем; + - $P < 0,05$ порівняно з НВЧВ-групою.

ферментів антиоксидантного захисту - СОД та каталази - також були прогнозованими, оскільки раніше можливість реактивації цих ферментів червоним лазерним випромінюванням була продемонстрована, наприклад, в експериментах з пригніченням активності ферментів внаслідок зміни рН середовища [15]. Важливо, що обидва

ферменти мають виражені піки поглинання у червоній ділянці спектру, і механізми їх реактивації були запропоновані раніше.

В той же час отримані нами ефекти прямого пригнічення активності цих ферментів низькоінтенсивним електромагнітним випромінюванням стандарту GSM 900 МГц не мають чіткого пояснення і потребують подальшого вивчення. Адже енергії цього випромінювання недостатньо для прямої активації електронів атомів та молекул речовини. Разом з тим, раніше було експериментально продемонстровано, що радіочастотне НВЧВ здатне спричиняти конформаційні зміни у біологічно важливих макромолекулах і суттєво змінювати активність АФК-генеруючих систем, зокрема, активність НАДН-оксидази [9].

Висновки

Отримані нами дані засвідчують виражені оксидативні ефекти низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання стандарту GSM 900 МГц на ембріональні клітини в умовах *in vivo* та на активність ферментів антиоксидантного захисту в умовах *in vitro*. Крім того, продемонстровано виражений нормалізуючий вплив червоного випромінювання світлодіодів на ранній розвиток ембріонів птиці та стан прооксидантно-антиоксидантної рівноваги в ембріональних клітинах, що дозволяє розглядати цей фактор, як потенційний засіб ефективного зменшення ризиків від надлишкового опромінення живих систем НВЧВ сучасними системами бездротового зв'язку.

Конфлікт інтересів. Автори засвідчують відсутність конфлікту інтересів. Робота була підтримана Національною академією наук України (грант № 2.2.5.376).

Література

1. Андреева Л.И. Модификация метода определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой / Л.И.Андреева, Л.А.Кожмякин, А.А.Кишкун // Лабораторное дело.- 1988.- №11.- С.41-43.
2. Королук М.А. Метод определения активности каталазы / М.А.Королук, Л.И.Иванова, И.Г.Майорова, В.Е.Токарев // Лабораторное дело.- 1988.- №1.- С.16-19.
3. Чавари С. Роль супероксиддисмутазы в окислительных процессах клетки и метод определения ее в би-

- ологических материалах / С.Чавари, И.Чаба, Й.Секуй // Лабораторное дело.- 1985.- №11.- С.678-681.
4. Якименко И. Регулирующее действие низкоинтенсивного лазерного излучения на состояние антиоксидантной системы организма / И.Якименко, Е.Сидорик // Украинский биохимический журнал.- 2001. - Т.73, №1.- С.16-23.
5. Якименко И. Л. Регуляторна дія низькоінтенсивного видимого світла на сомітогенез птиці /

І.Л.Якименко, О.С.Цибулін // Доповіді НАН України.- 2007.- №2. - С.163-168.

6. Baan R. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields / R.Baan, Y.Grosse, B.Lauby-Secretan et al. // The Lancet Oncology.- 2011.- Vol.12.- P.624-626.

7. Burlaka A. Overproduction of free radical species in embryonal cells exposed to low intensity radiofrequency radiation / A.Burlaka, O.Tsybulin, E.Sidorik et al. // Exp. Oncol.- 2013.- Vol.35.- P.219-225.

8. Draper H.H. Malonic dialdehyde determination as index of lipid peroxidation / H.H. Draper, M. Hadley // Methods in Enzymology. – 1990. – Vol. 186. – P. 421-431.

9. Friedman J. Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies / J.Friedman, S.Kraus, Y.Hauptman et al. // The Biochemical Journal.- 2007.- Vol.405.- P.559-568.

10. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) / ICNIRP // Health Physics.- 1998.- Vol.74.- P.494-522.

11. Jelodar G. The prophylactic effect of vitamin C on oxidative stress indexes in rat eyes following exposure to radiofrequency wave generated by a BTS antenna model / G.Jelodar, A.Akbari, S.Nazifi // International Journal of Radiation Biology.- 2013.- Vol.89.- P.128-131.

12. Oksay T. Protective effects of melatonin against

oxidative injury in rat testis induced by wireless (2.45 GHz) devices / T.Oksay, M.Naziroğlu, S.Doğan et al. // Andrologia.- 2014.- Vol.46.- P.65-72.

13. Oral B. Endometrial apoptosis induced by a 900-MHz mobile phone: preventive effects of vitamins E and C / B.Oral, M.Guney, F.Ozguner et al. // Adv. Ther.- 2006.- Vol.23.- P.957-973.

14. Tsybulin O. GSM 900 MHz cellular phone radiation can either stimulate or depress early embryogenesis in Japanese quails depending on the duration of exposure / O. Tsybulin, E. Sidorik, O. Bricieva, L. Buchynska, S. Kyrylenko, D. Henshel // Intern. Journ. of Radiat. Biology. – 2013. - Vol. 89. № 9. – P. 756-763.

15. Vladimirov Y.A. Photoreactivation of superoxide dismutase by intensive red (laser) light / Y.A.Vladimirov, E.A.Gorbatenkova, N.V.Paramonov, O.A.Azizova // Free Radical Biology and Medicine.- 1988.- Vol.5.- P.281-286.

16. Yakymenko I. Low intensity radiofrequency radiation: a new oxidant for living cells / I.Yakymenko, E.Sidorik, D.Henshel, S.Kyrylenko // Oxid. Antioxid. Med. Sci.- 2014.- Vol.3.- P.1-3.

17. Yakymenko I. Long-term exposure to microwave radiation provokes cancer growth: evidences from radars and mobile communication systems / I.Yakymenko, E.Sidorik, S.Kyrylenko, V.Chekhun // Exp. Oncol.- 2011.- Vol.33.- P.62-70.

ЗАЩИТНИЙ ЭФФЕКТ КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКОГО КРАСНОГО СВЕТА ОТ ОКСИДАТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

¹Цыбулін А.С., ²Якименко І.Л., ³Сидорик Е.П.

¹Белоцерковский национальный аграрный университет
пл. Соборная, 8/1, г. Белая Церковь, 09100 Украина,
тел. +38(04563)33-11-46,
e-mail: alex.tsybulin@gmail.com;

²Национальный университет пищевых технологий,
ул. Владимирская, 68, г. Киев, 01601 Украина,
тел. +38(044)287-97-46;

³Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии
имени Р.Е.Кавецкого НАН Украины
ул. Васильковская, 45, г. Киев, 03022 Украина
тел. +38(044) 259-01-83.

Всемирная организация здравоохранения официально признала электромагнитное излучение радиочастотного диапазона возможным канцерогеном для человека. В некоторых эпидемиологических исследованиях было продемонстрировано увеличение риска возникновения рака головного мозга, невриномы слухового нерва, изменения гормонального статуса и психофизических показателей у лиц, находящихся под длительным воздействием электромагнитного излучения радиочастотного диапазона. В то же время отсутствие четких представлений о молекулярных механизмах таких воздействий электромагнитного излучения было одним из препятствий на пути широкого признания данного феномена.

Ранее нами было показано, что монохроматический красный свет гелий-неонового лазера, а также красное излучение светодиодов (LED) при определенных режимах проявляют выраженное антиоксидантное действие на эмбрионы птицы. В данной работе нами проведена экспериментальная оценка эффективности использования красного света LED для защиты клеток от негативных эффектов электромагнитного излучения стандарта GSM (частота 900 МГц).

Материалы и методы. В работе использованы эмбрионы перепела японского (*Coturnix japonica*). Для эксперимента были сформированы три группы по 8-10 свежих инкубационных яиц, которые инкубировали *in ovo*. Первая группа служила интактным контролем, вторая подвергалась воздействию СВЧ-излучения стандарта GSM 900 МГц. Яйца третьей группы облучались СВЧ-излучением и дополнительно - квазимонохроматическим красным светом LED. В качестве источника СВЧ-излучения использовали 3G USB-модем Huawei E173 и коммерческую модель мобильного телефона Nokia 3120, которые активизировали компьютерной программой автодозвона в режиме 48 секунд - «включен», 12 секунд - «выключено». В состоянии «включено» система излучала СВЧ-излучение стандарта GSM 900 МГц с плотностью мощности 14 мкВт/см² в зоне расположения биологического объекта (яйца).

В качестве источника квазимонохроматического красного излучения использовали светодиодную матрицу (20 светодиодов L7113 PDC/H, длина волны 630-650 нм), давала в зоне нахождения биологического объекта плотность мощности света 0,1 мВт/см². Перепелиные эмбрионы второй группы облучали *in ovo* СВЧ-излучателем стандарта GSM 900 МГц в течение 120 часов в инкубации и 38 часов - в течение первых двух суток инкубации. Эмбрионы третьей группы облучали СВЧ-излучением в таком же режиме и дополнительно в течение 180 секунд (3×60)-квазимонохроматическим красным светом во время инкубации.

Яйца двух опытных и контрольной групп инкубировали в одинаковых стандартных условиях с экранированием металлической фольгой одной группы от другой. Эмбриональное развитие останавливали после 38 часов инкубации и микроскопически оценивали его уровень по количеству пар дифференцированных сомитов, а также по показателям прооксидантно-антиоксидантного равновесия в эмбриональных клетках.

Результаты исследований и их обсуждение. Облучение эмбрионов СВЧ-излучением стандарта GSM 900 МГц привело к незначительному, но достоверному подавлению сомитогенезу, что выражалось в уменьшении количества пар дифференцированных сомитов на 11,2% ($P < 0,05$) по сравнению с контролем. В то же время дополнительное облучение эмбрионов квазимонохроматическим красным светом привело к восстановлению интенсивности сомитогенеза до уровня контроля.

СВЧ-излучение вызвало выраженный оксидативный стресс в эмбриональных клетках. В частности, уровень ТБК-реагирующих перекисных липидных соединений в клетках эмбрионов группы II оказался на 37,5% ($P < 0,05$) выше по сравнению с контролем. Кроме того, активность СОД и особенно каталазы в клетках эмбрионов, облученных СВЧ-излучением, была существенно снижена по сравнению с контролем: СОД - на 17,3%, каталазы - на 78,6% ($P < 0,01$).

Выводы. Полученные нами данные подтверждают выраженные оксидативные эффекты низкоинтенсивного электромагнитного излучения стандарта GSM 900 МГц на эмбриональные клетки в условиях *in vivo* и на активность ферментов антиоксидантной защиты в условиях *in vitro*. Кроме того, продемонстрировано выраженное нормализующее влияние квазимонохроматического красного излучения светодиодов на раннее развитие эмбрионов птицы и состояние прооксидантно-антиоксидантного равновесия в эмбриональных клетках, что позволяет рассматривать этот фактор, как потенциальное средство эффективного уменьшения рисков от избыточного облучения живых систем СВЧ-излучением современных систем беспроводной связи.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, эмбриогенез, оксидативный стресс, фототерапия, антиоксиданты.

PROTECTIVE EFFECT OF QUASI-MONOCHROMATIC RED LIGHT FROM OXIDATIVE ACTION OF MICROWAVE RADIATION

¹Tsybulin A.S., ²Yakymenko I.L., ³Sydoryk Ye.P.

¹Bila Tserkva National Agrarian University;

²National University of Food Technologies, Kyiv;

³Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology
of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

The World Health Organization officially recognized the electromagnetic emission of radio frequency range as a possible human carcinogen. Certain epidemiological studies have shown an increased risk of brain tumors, acoustic neuroma, changes in the hormonal status and psychophysical factors in persons under long-term exposure to electromagnetic radiation of the radiofrequency range. At the same time, a lack of clear understanding of the molecular mechanisms of effects of electromagnetic radiation was one of the blocks on the way of widespread acceptance of this phenomenon.

Previously we showed that the monochromatic red light of the helium-neon laser as well as the red radiation of light emitted diodes (LED) under certain conditions manifest a pronounced antioxidant effect on the poultry bird embryos. In this study, we carried out an experimental evaluation of the use of red light of LED to protect cells against the negative effects of the GSM electromagnetic radiation standard (900 MHz frequency).

Materials and methods. Japanese quail embryos are used in the work. To carry out an experiment, three groups of 8-10 fresh hatching eggs were formed which were incubated *in ovo*. The first group served as untreated control, the second one was exposed to microwave radiation (MWR) of 900 MHz GSM standard. The eggs of the third group were irradiated by DHFW radiation and additionally by MWR quasi-monochromatic red light. 3G USB dongle Huawei E173 and Nokia 3120 commercial model of the mobile telephone were used as a MWR source. They were activated by the computer program of automatic redial in the mode 48

sec 'on', 12 sec – 'off'. In the 'on' state, the system emitted the 900 MHz GSM standard MWR with a power density of 14 mW/cm² in the area of biological object (eggs) location. A LED matrix (20 L7113 PDC/H LEDs, wavelength 630-650 nm) was used as a source of quasi-monochromatic red radiation. In the biological object location area it provided a light power with density of 0.1 mW/cm². The quail embryos of the second group were irradiated in ovo with the 900MHz GSM standard MWR for 120 hours, and 38 hours of incubation during the first two days of incubation. Embryos of the third group were irradiated with MWR in the same mode for further 180 seconds (3×60), namely with quasi-monochromatic red light during incubation.

The eggs of the two experimental and control groups were incubated under the same standard conditions with screening one group from another by metal foil. The embryonic development was stopped after 38 hours of incubation and its level was microscopically evaluated by the number of pairs of differentiated somites, as well as on indicators of prooxidant-antioxidant balance in embryonic cells.

Results of studies and their discussion. Irradiation of embryos with the 900 MHz GSM standard MWR caused slight but statistically significant inhibition of somitogenesis that was expressed in reducing the amount of differentiated somite pairs by 11.2% ($P < 0.05$) as compared with the control. At the same time, additional radiation of embryos with quasi-monochromatic red light led to the restoration of somitogenesis intensity up to the level of the control.

The MWR caused an expressed oxidative stress in embryonic cells. In particular, the level of TBA (thiobarbituric acid)-reactive peroxide lipid compounds in the cells of embryos of the group II was higher by 37.5% ($P < 0.05$) in comparison with the control. Furthermore, the activity of SOD (superoxide dismutase), and in particular catalase, in embryo cells, irradiated with the MWR was significantly reduced as compared to the control: SOD – by 17.3%, catalase – by 78.6% ($P < 0,01$).

Conclusions. The data obtained confirm the expressed oxidative effects of low-intensive electromagnetic radiation of the 900 MHz GSM standard on embryonic cells in vivo conditions and on the activity of antioxidant enzyme under in vitro conditions. In addition, demonstrated is a pronounced normalizing effect of the quasi-monochromatic red LED light on the early development of poultry bird embryos and the state of prooxidant-antioxidant balance in embryonic cells, which allows us to consider this factor as a potential means of effective risk reduction of excessive irradiation of living systems by the MWR of the modern wireless communication systems.

Keywords: electromagnetic radiation, embryogenesis, oxidative stress, phototherapy, antioxidants.